

将来管理を踏まえた少数主桁橋の検討について

西 美憲¹

¹ 近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 工務第二課 (〒620-0875 京都府福知山市字堀小字今岡 2459-14)

2012年(平成24年)に改定された道路橋示方書では、維持管理の確実性及び容易さが、設計の基本理念として示された。これに対して近畿地方整備局では、鋼橋における少数鉸桁等について、将来交通量も踏まえ迂回路となる道路の有無を判断し、無い場合は床版打替え等の維持管理作業が通行止めすることなく車線規制で実施できる構造をあらかじめ検討することを定めた。

ここでは、丹波綾部道路において下部工事に着手している鋼・コンクリート合成床版を有する少数鉸桁橋に対して、将来の床版打替えが、通行止めすることなく車線規制で実施できる構造を検討し、修正設計を実施した結果を報告するものである。

キーワード 維持管理、床版打替え、鋼少数鉸桁、連続桁、鋼・コンクリート合成床版

1. はじめに

橋梁をはじめとする道路構造物の維持管理を適切に行うことの重要性が高まっている。このような背景のもと、2012年(平成24年)に改定された道路橋示方書¹⁾では、維持管理の確実性および容易さが、設計の基本理念として示された。

維持管理は、点検・診断・措置のサイクルを定期的実施していくことが必要であり、また、将来の維持管理作業においては物流等への影響をできるだけ少なくできるようにしておくことが必要である。

この状況のもと、近畿地方整備局では、鋼橋における少数鉸桁等については、将来交通量や迂回路等の代替路線を勘案のうえ、将来の床版打替えを想定した構造上の対応を予め検討することを定めた事務連絡を通知した。

これに対して、現在2014年度開通に向けて工事を実施している丹波綾部道路は、路線の位置づけ、代替性から一時的な通行止めも大きな影響を交通に与えることから、当該路線において工事着手している鋼・コンクリート合成床版を有する連続合成少数鉸桁橋の橋梁に対して、将来の床版打替え時の構造を検討した。

2. 丹波綾部道路(京都縦貫自動車道)の必要性

丹波綾部道路は、南北に長い京都府の北部地域と南部地域を結ぶ全長約100kmの京都縦貫自動車道の内、一部区間を構成する29.2kmの高規格幹線道路であり、

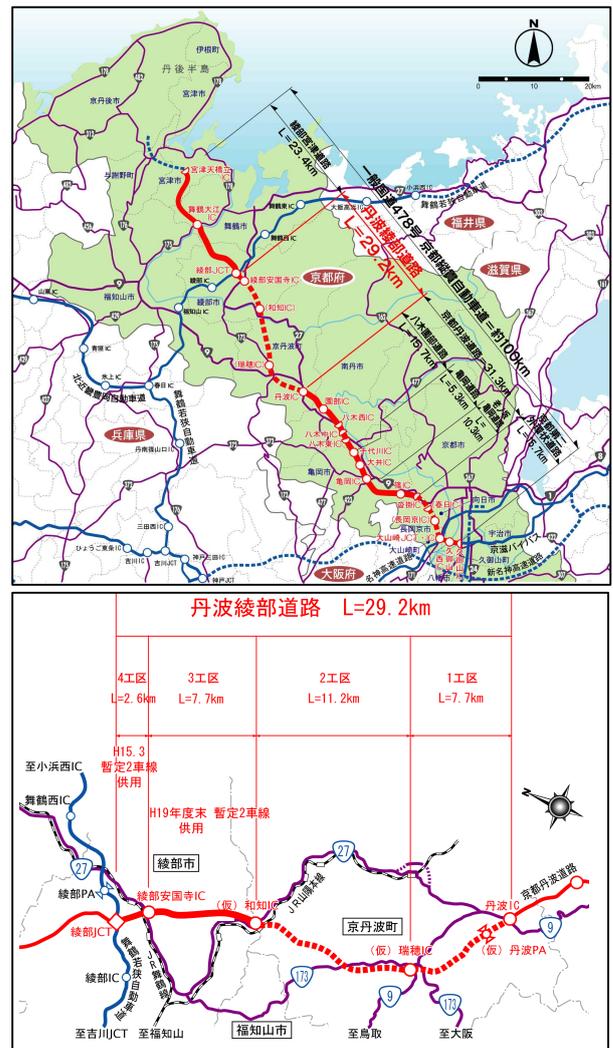


図-1 丹波綾部道路

丹波綾部道路の開通により、宮津市から京都市までの所要時間が約90分短縮される。

そのため、京都府北部地域の経済の活性化や京都府北部地域と南部地域の連携強化を図り、府域の一体的発展が期待される重要な道路である。

表-1 道路の構造

道路規格	第1種第3級
設計速度	80km/h
車線数	暫定2車線 (一部4車線供用)

3. 少数桁の床版打替えに対する取り組み

丹波綾部道路では、須知川橋、中台高架橋、広野高架橋、大朴川橋および桧山高架橋の5橋を少数桁橋として計画している。

丹波綾部道路は、周辺に同等規格の代替路がない自動車専用道路である。また、基本的に暫定2車線供用であり、床版打替えの場合には、全面的な通行止めを回避する必要があるのである。

対象橋はすべて、鋼・コンクリート合成床版を有する少数主桁構造であるが、幅員変化が大きな須知川橋(A1-P2)以外は、主桁と床版が一体となって荷重に抵抗する合成桁である。

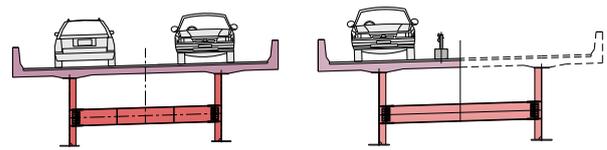
このため、床版打替え時には荷重に抵抗する床版がなくなり、一時的に鋼桁のみで荷重に抵抗することになり、図-2に示すように橋としての安定性のほか、鋼桁本体の安全性やたわみが課題となる。

対象橋はいずれも下部工工事に着手していたことから、構造検討にあたっては、構造変更や補強材の設置に伴う鋼重増が橋全体の設計に影響が及ばない範囲における検討が必要となった。

対象橋の構造を踏まえて、図-3に示す将来の床版打替えに伴う検討フローを作成し、各橋ごとに下部工の安全性を考慮して比較的容易に床版打替えが可能な補強構造を検討した。

ここで、大朴川橋については、完成断面での施工となるため、床版打替え時には本線車線をシフトさせることが可能であり、検討対象外とした。

検討フローの中で、詳細な検討が必要となった「主桁対策検討」ならびに「仮設部材・補強検討」について、主に合成桁から非合成桁化が可能となった広野高架橋の検討結果を整理し報告する。



(a)供用時 (b)床版施工時

図-2 床版打替え時の少数主桁

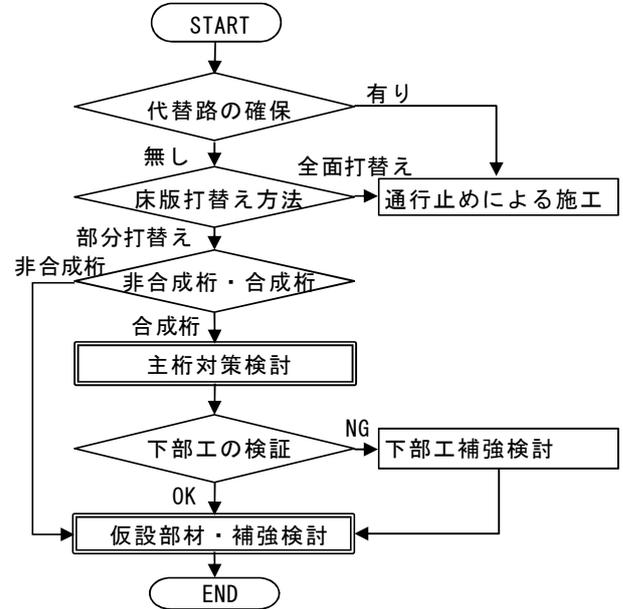


図-3 床版打替えに伴う検討フロー

表-2 丹波綾部道路に計画される鋼少数桁橋と検討結果

橋名	諸元	
須知川橋	橋長	440.0m(88m+90m+262m)
	支間長	42.0m+3@44.1m+40.6m +2@45.0m+50.0m+45.0+34.5m
	当初形式	鋼2+2+6 径間連続鋼桁
	主桁対策	(P2~P4)補強材による主桁補強 (P4~A2)非合成桁化
中台高架橋	橋長	152.0m
	支間長	46.6m+57.0m+46.6m
	当初形式	鋼3 径間連続合成鋼桁
	主桁対策	非合成桁化
広野高架橋	橋長	86.0m
	支間長	25.5m+33.0m+25.5m
	当初形式	鋼3 径間連続合成鋼桁
	主桁対策	非合成桁化
大朴川橋 (完成断面)	橋長	186.0m
	支間長	45.3m+60.0m+44.0m+35.3m
	当初形式	鋼4 径間連続合成鋼桁
	主桁対策	完成断面のため対策なし
桧山高架橋	橋長	371.0m
	支間長	37.8m+5@47.5m+52.4m+41.9m
	当初形式	鋼8 径間連続合成鋼桁
	主桁対策	補強材による主桁補強

4. 主桁対策の検討

(1) 床版打替え時の鋼連続合成少数桁の課題

鋼連続合成桁は、我が国において1960年代以降積極的に採用されてきたが、施工の煩雑さ、床版の損傷²⁾時における補修の困難さから、一時非合成桁が主流となっていた経緯がある。しかしながら、非合成桁に比べて鋼重が少なくなり経済的な構造形式であることから、1990年代から数多くの実験ならびに研究³⁾を経て採用実績が増加している状況にある。

合成桁は、防護柵、舗装等の後死荷重および活荷重に対して、主桁と床版とが一体となって抵抗する構造であり、交通共用下で床版を打替える場合には、施工中の主桁の座屈、主桁の応力超過、後死荷重によるたわみの残留などが問題⁴⁾となる。

合成桁の床版打替え時における対策としては、1998年に外ケーブル工法が設計・施工マニュアル⁵⁾として整備されているが、床版打替えを部分的に行う場合には、床版の損傷部をあらかじめ特定できないことから、外ケーブル工法による補強対策は、損傷発見後に詳細な補強規模の検討を要し、通行規制の期間が長くなる。このため、損傷が発見されてから床版工事を完了するまでに、できるだけ短期間で実施できる工法の選定が必要となる。

(2) 主桁応力状態の把握

合成桁は、前述のとおり床版と主桁が一体となって荷重に抵抗する構造であるが、荷重状態、照査位置によって表-3の断面剛性により照査されている。

表-3 合成桁の照査に用いる断面剛性と荷重

状態	合成前 (施工時)	合成後 (中間支点以外)	合成後 (中間支点付近)
断面剛性	鋼桁のみ	床版コンクリート + 鋼桁	床版鉄筋 + 鋼桁
概念図			
作用荷重	・ 鋼重 ・ 床版	・ 橋面工(舗装, 防護柵, 遮音壁等) ・ クリープ・乾燥収縮・温度変化 ・ 活荷重	

非合成桁は、表-3に示す鋼桁のみの断面剛性で全ての荷重に対して照査することになる。合成桁の床版打替えの床版撤去時には、非合成桁と同様の断面剛性になり、合成後の荷重を鋼桁のみで受け持つことになる。

ここで、床版打替えは損傷に限定した部分打替えになることが想定されるため、橋軸方向に対して一部の床版を撤去した状態において中立軸位置の把握が課題⁶⁾であ

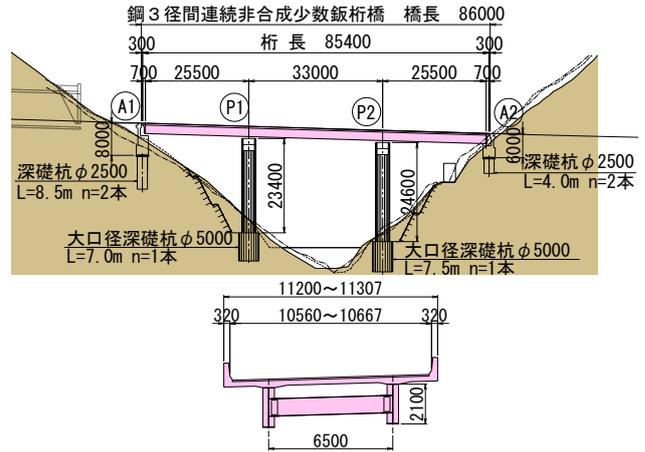


図-4 広野高架橋一般図

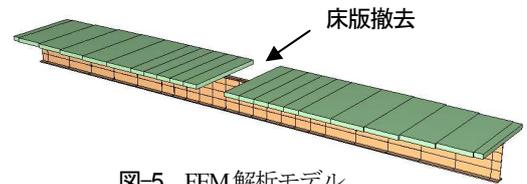


図-5 FEM解析モデル

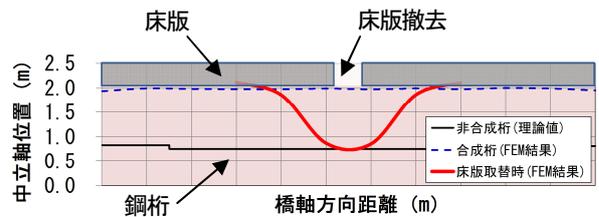


図-6 FEM解析結果(側面図)

り、中立軸位置がどの程度変動するか確認した。

検証にあたっては、図-4に示す広野高架橋を対象として、径間中央部において橋軸方向2mの床版を打替えたことを想定し、図-5に示すように1主桁(P1~P2)のみをモデル化したFEM解析を用いた。

解析検討の結果を図-6に示す。FEM解析の結果、床版を2m撤去した場合の中立軸位置は、桁高の中央付近に位置し鋼桁のみの中立軸位置と同様になることがわかった。このため、床版撤去後の供用時における主桁応力度の照査にあたっては、非合成桁と同様に鋼桁のみの断面剛性を用いて照査した。

広野高架橋P1~P2間の支間中央断面における床版打替え時の主桁応力状態を図-7に示す。

検討の結果、床版撤去時に舗装、防護柵等の後死荷重が鋼桁のみの断面で抵抗することになり、床版撤去時に上フランジで77N/mm²、下フランジで16N/mm²の応力が付加されることがわかる。この応力度は床版打替え後においても残留するため、床版打替え後の供用時において主桁応力度が許容応力度を満足しない結果となる。他橋においても同様の傾向となり、合成桁に対して床版打替えを行う場合、主桁対策が必要になることを確認した。

合成桁の応力状態				
施工状態	桁架設・床版打設時 前死荷重	防護柵・舗装施工時 後死荷重	死荷重時	供用時
状態図				
鋼桁応力分布 (N/mm ²)	上フランジ応力度 -: 圧縮 +: 引張 下フランジ応力度	前死 + 後死 = 死荷重	死荷重時	死荷重+活荷重=設計荷重
床版打替え時の応力状態				
施工状態	死荷重時	床版撤去後	床版施工供用時	床版打替え後供用時
状態図				
鋼桁応力分布 (N/mm ²)	死荷重時	前死 + 後死 = 打替死荷重	打替死+1車供用=施工時	打替死+活荷重=設計荷重

図-7 施工状態における主桁応力度(広野高架橋 P1~P2 支間中央)

(3) 主桁対策工の検討

主桁応力度の検討結果を踏まえて、次の2案の対策工について検討した。

対策案1: 非合成桁への変更

対策案2: 補強材の設置による主桁補強(図-8)

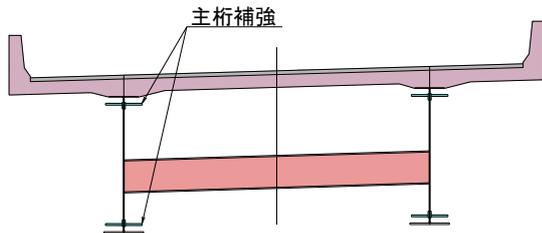


図-8 対策案2: 補強材の設置による主桁補強

表-4 対策案比較結果(広野高架橋)

対策案		対策案1	対策案2
		非合成桁化	補強材の追加
鋼重 (比率)		124.4t (1.00)	118.2t (0.95)
	建設時	214.9 (1.00)	210.8 (0.98)
コスト	床版打替え (2m分)	9.8 (1.00)	14.1 (1.44)
	合計	224.7 (1.00)	224.9 (1.00)

対策工の検討結果を表-4に示す。検討の結果、対策案1は合成桁に比べて主桁鋼重が5%増加する結果となった。一方、対策案2においては、最大250mm×50mmの主桁補強材を必要とする結果になり、経済性においては比較した結果、床版を2m(1パネル)打替える時点で2案の経済性が同等になる結果となった。

(4) 下部工の検証

合成桁を非合成桁とする場合には、鋼重の増大による死荷重増加が課題となる。さらに、合成桁では、図-9に示すように非合成桁の設計では考慮されない床版のクリープ・乾燥収縮¹⁾を考慮して設計反力が算出されており、非合成桁への変更は、支点反力に影響が及ぶ。対象とした広野高架橋の死荷重時反力を表-3に示すが、合成桁の反力に対して非合成桁の反力は、端支点では大きくなるが、中間支点では逆に減少することになり、合成桁では床版撤去に伴うクリープ・乾燥収縮による反力変動も課題の一つになることがわかる。

非合成桁の反力を用いて、下部工の安全性を確認したところ、道路橋示方書に規定される安全性を確保できることを確認した。耐震設計に必要な全体死荷重は、非合成桁の方が合成桁に比べて0.8%増加しているが、動的照査において安全性を確保できることを確認した。

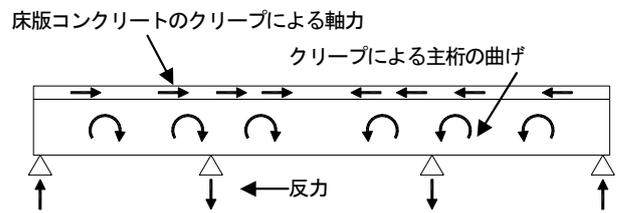


図-9 合成桁の床版乾燥収縮による反力

表-5 合成桁と非合成桁の死荷重時反力(広野高架橋:単位kN)

形式	合成桁		非合成桁		比率 非合成 /合成
	前後 死荷重	クリープ 乾燥収縮	死荷重時 合計	死荷重	
A1	1,673	-151	1,522	1,717	1.13
P1	4,679	150	4,828	4,718	0.98
P2	4,724	153	4,878	4,741	0.97
A2	1,717	-152	1,565	1,724	1.10
合計			12,793	12,899	1.01

ここで、クリープ・乾燥収縮による反力は連続径間数が多いほど顕著であり、死荷重時反力に占めるクリープ・乾燥収縮による反力の割合は、広野高架橋のA1では9%であるが、対象橋で最も径間数が多い松山高架橋では、15%に達している。このため、径間数が多い松山高架橋、須知川橋では、非合成桁に変更することにより、端部の下部工に補強が必要となる結果となり、合成桁のままとして対策案2により対応せざるを得なかった。

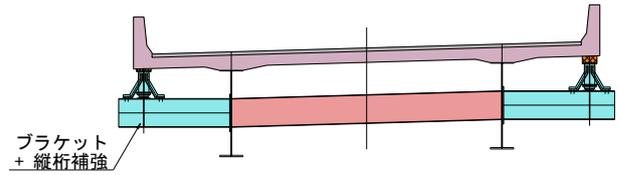


図-9 縦桁・補強ブラケット対策

(5) 検討結果のまとめ

床版打替え時における主桁の応力超過に対して、非合成桁化(対策案1)と主桁を補強する合成桁案(対策案2)とを比較した結果、非合成桁化案は、初期コストは1~4%増加するが、維持管理の容易性ならびに費用は、優位であることを確認した。

非合成桁とすることにより、床版打替え施工の複雑な補強検討が不要となり、迅速な工事が可能であるが、連続径間数が多い場合には、クリープ・乾燥収縮による反力が大きく下部工に及ぼす影響が大きい。

このため、下部工に影響がない場合には、対策案1の非合成桁化案とし、下部工に影響がある場合には、対策案2の補強案による対応とした。

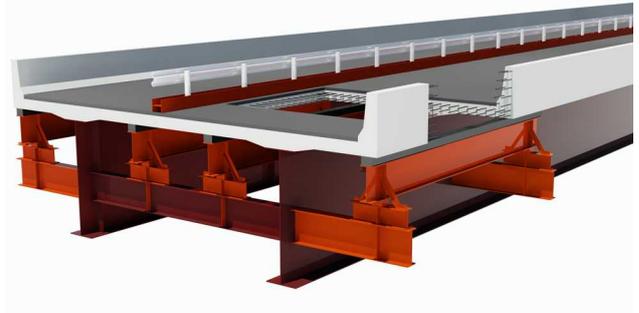


図-10 床版打ち替え・仮設部材イメージ図

5. 仮設部材・補強検討

(1) 床版打替え時の仮設部材・補強対策の検討

少数主桁に対して供用下で床版の打替えを行うためには、別途補強材により主桁を支持する必要があるが、補強材を必要としない床版打替え工法^{7,8)}も研究されている。

対象橋は上下部工工事に着手した状況にあるため、床版厚の増加等による影響や工事の遅延を伴う大規模な変更が伴わない補強工法を検討する必要がある。

このため、補強工法は、図-9、図-10に示す主桁形状、床版厚の変更が不要な補強縦桁・ブラケット設置⁹⁾による工法を選定した。

仮設部材の検討フローを図-11に示す。検討にあたっては、横桁間隔を変更しないように補強対策を実施しており、約7mの間隔でH600の形鋼を横桁に採用していた広野高架橋では、補強縦桁からの荷重に対して許容応力度を満足しなかったため、H700の形鋼に横桁断面を変更した。

(2) 仮設部材の施工計画

対象橋は、国道、県道、河川、谷を跨ぐ橋であり、路下からの仮設補強材の設置が困難となるため、仮設部材の取付けは吊足場を設置して、橋面上からの施工となる。

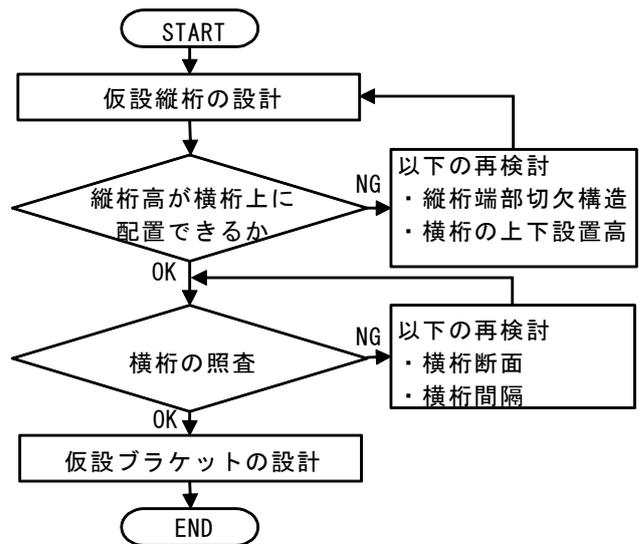


図-11 仮設部材の検討フロー

仮設部材の重量は、補強ブラケットが約0.7t、縦桁が約1.4tとなり、5t吊ラフタークレーンを用いた補強材の架設となるため、図-12に示すように片側通行させながらの施工が可能となる。

補強ブラケットは、補強時において主桁本体のウェブとボルト継手にて接続することになるが、ブラケット取付け部材の設置に必要な仕口の設置・加工やウェブへのボルト孔の削孔など、将来の改良が可能な対策は床版打替え工事の段階で実施するものとして、建設時点では、必要最小限の対応にとどめた。

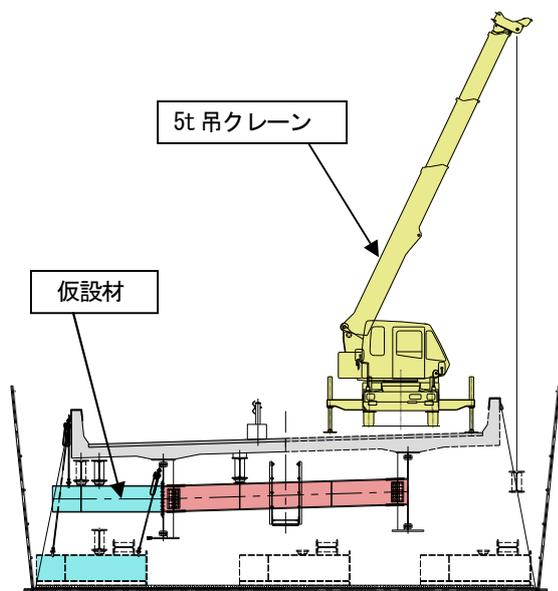


図-12 補強ブラケットの架設要領図

下部工への影響が大きいいため、将来の床版打替えの段階で主桁を直接する補強する対策と併用する工法を採用することになった。

今回検討により主桁対策工が2種類に分けられており、今後、将来の維持管理に確実に引き継ぐために、今回の検討結果の記録、伝達が重要な課題である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋，平成24年3月
- 2) (社)日本道路協会：道路橋補修・補強事例集2012年版，2012年3月
- 3) 中園，安川，稲葉，橋，秋山，佐々木：PC床版を有する鋼連続合成2主桁橋の設計法(上)，橋梁と基礎，2002年3月
- 4) 建設省土木研究所：合成桁の床版打換え工法に関する調査，土木研究所資料第3582号，1998年6月
- 5) 建設省土木研究所：合成桁の床版打換え工法に関する調査，土木研究所資料第3582号，1998年6月
- 6) 久保田，吉川，山本，松井，伊藤，林：首都高速道路の連続合成鋼桁橋における合成床版の要求性能の一考察，第6回複合構造の活用に関するシンポジウム，2005年11月
- 7) 村上，川平，赤松，小菅，高：縦置きI形格子床版を有する合成2主桁橋の床版打換え，鋼構造シンポジウム2012，2012年11月
- 8) 亀子，小島，辻野，海川，河合，佐々木，奥井：床版打替えが可能な合成桁の提案と一検討，土木学会第65回年次学術講演会，2010年9月
- 9) (社)日本橋梁建設協会：次世代に贈る100年橋梁鋼・コンクリート合成床版を用いた少数I桁橋，2012年12月

6. 今後の課題

今回の床版打替え時における維持管理の重要性の検討では、初期コストへの影響も踏まえて、補強部材をあらかじめ設置することをできるだけ縮小し、将来に補強補強ブラケットを設置する構造とした。

合成桁における将来の床版打替えについては課題が多く、須知川橋(P4~A2)、広野高架橋、中台高架橋に対しては床版打替え時の主桁補強を回避できる非合成桁に変更したが、須知川橋(P2~P4)、桧山高架橋については、